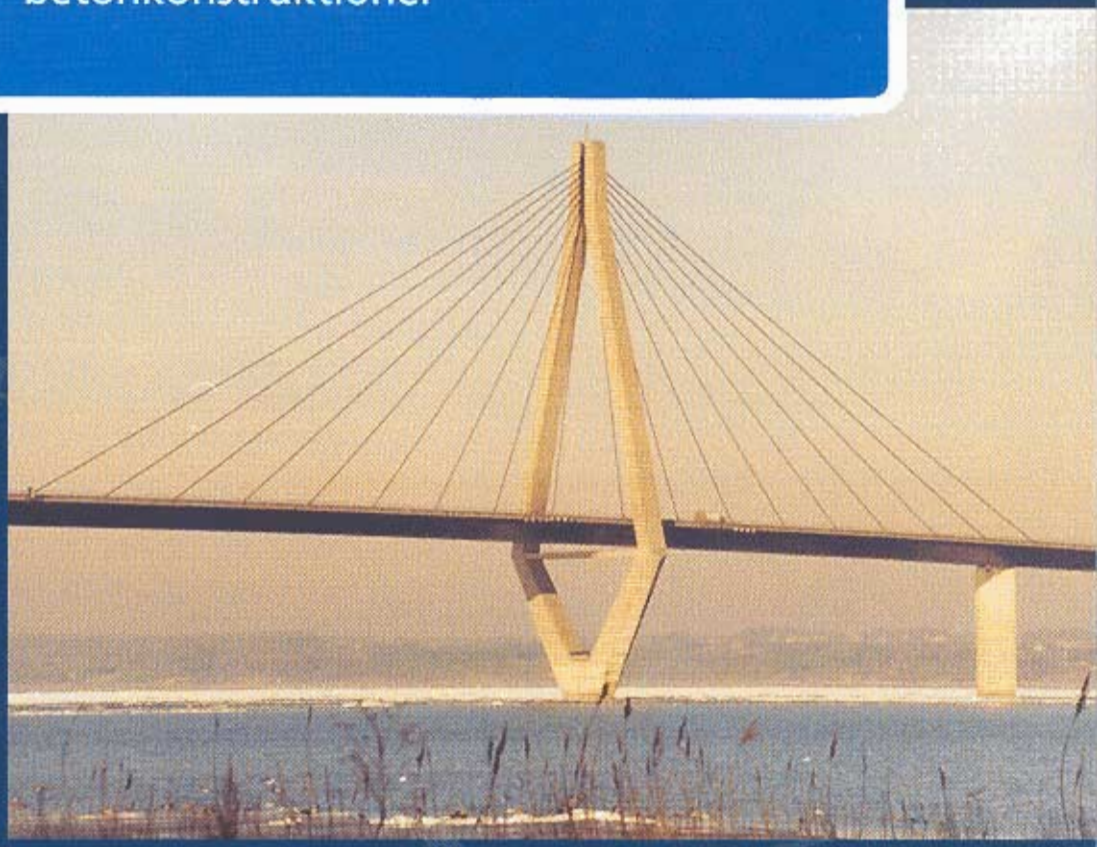
HETEK

Vejledning i udformning,
som forbedrer udførelsen af armerede
betonkonstruktioner



Rapport nr. 95
1997

Vejdirektoratet

IRRD Information

Title in Danish	HETEK, Vejledning i udformning, som forbedrer udførelsen af armerede betonkonstruktioner
Title in English	HETEK, Guidelines for structural detailing to improve concreting
Author	Find Meyer
Subject classification	Concrete 32
Key words	Concrete 4755 High Strength 5537 Cast in situ concrete 4781 Contractor 0127 Design 9011 Dictionary 8596 Specification (standard) 0139 Research Project 8557 Denmark 8028

Abstract

This report forms a part of the Danish Road Directorate's research programme called High Performance Concrete - The Contractor's Technology (abbreviated to HETEK). HETEK is divided into eight parts where part no. 5 concerns compaction as well as structural detailing.

The guidelines for structural detailing to improve concreting is prepared on basis of the recommendations given in the State of the Art report.

Front page photo

The front page photo shows the pylons of the Faroe Bridge between Faroe and Falster, Denmark. The pylons are cast against inclined formwork.

Indholdsfortegnelse

	Side
0. Forord	4
1. Indledning	6
1.1 Formål	6
1.2 Baggrund	7
2. Geometri	8
2.1 Skrå afgrænsninger	8
2.2 Afvandingsprofiler	11
2.3 Vægdimensioner	13
2.3.1 Vægtykkelse	13
2.3.2 Væghøjde	13
2.4 Støbeskel	14
2.4.1 Tværsnit væg/fundament	14
2.4.2 Længdesnit væg/fundament	15
2.5 Udsparinger	16
2.5.1 Udsparing, geometri	16
2.5.2 Udsparing, placering	19
2.5.3 Udsparing, armering og fugebånd	19
2.6 Recesser	20
2.7 Affasninger	21
2.8 Trapezformede riller og drypnæser	22
3. Indstøbte dele	24
3.1 Kantjern	24
3.2 Udsparingsrør	24
3.3 Kølerør	27
3.4 Fugebånd	28
4. Slap armering	30
4.1 Dæklag	30
4.2 Afstand mellem armeringsjern	31
4.3 Stød og forankring	34
5. Spændt armering	36
6. Referencer	37

0. Forord

Udformning og udførelse af armerede betonkonstruktioner er et delprojekt i et større udviklingsprojekt om "Højkvalitetsbeton, Entreprenørens Teknologi" forkortet HETEK.

Højkvalitetsbeton er beton med mindst 100 års projekteret levetid i aggressivt miljø.

Udviklingsprojektet, HETEK er opdelt i følgende 8 delprojekter:

- Chloridindtrængning
- Frostmodstand
- Selvudtørringssvind
- Hærdeteknologi
- Vibrering samt udformning og udførelse af armerede betonkonstruktioner
- Udtørringsbeskyttelse
- Forprøvning af fremstilling af betonkonstruktioner
- Reparationer

Udviklingsprojektet, der er udbudt af Vejdirektoratet, er finansieret af Erhvervsministeriet - Udviklingskontraktudvalget. Den faglige projektledelse er varetaget af Vejdirektoratet ved Erik Stoklund Larsen, i samarbejde med opgavelederne for hver af HETEK's delopgaver.

Delprojektet om udformning og udførelse af armerede betonkonstruktioner er udført af:

Dansk Betoninstitut A/S repræsenteret ved:

- Find Meyer (Projektledelse)
- Erik Andersen
- Arne Steen Jacobsen
- Bjarne Chr. Jensen
- Alex Kjær
- Flemming Pedersen
- Steen Rostam
- Erik Skettrup

Hans Henrik Orbesen, Phil & Søn, har deltaget som konsulent.

Delprojektet er opdelt i 4 faser:

Fase 1: Kategorisering af problemer, Arbejdsnotat
Fase 2: State of the Art
Fase 3: Afhjælpning - Udkast til Vejledning på dansk
Fase 4: Endelig vejledning - engelsk udgave

Dette er fase 3 rapporten.

De forhold ved konstruktionsudformningen, som medfører vanskelig udstøbning er påpeget af en arbejdsgruppe bestående af:

- Christian Bak, C.G. Jensen
- Niels Coff, Armton/NCC
- Jan Graabæk, Monberg & Thorsen A/S
- Gunnar Holm, Jorton A/S
- Arne Steen Jacobsen, COWI
- Per Jeppesen, NCC, Rasmussen & Schiøtz
- Alex Kjær, Højgaard & Schultz A/S
- Find Meyer, Carl Bro as
- H.H. Orbesen, Phil & Søn A/S
- Flemming Pedersen, COWI
- Erik Skettrup, RAMBØLL

Vejledningen omhandler de af gruppen påpegede forhold.

Rapporten er gennemgået og kommenteret af Reidar Kompen, Statens Vegvesen, Vegdirektoratet Norge, som er medlem af HETEK's tekniske komité. Tak til Reidar Kompen og øvrige medvirkende for aktiv deltagelse i vejledningens udformning og indhold.

Marts 1997
Projektstyregruppen
Find Meyer
Arne Steen Jacobsen
Bjarne Chr. Jensen
Alex Kjær
Hans Henrik Orbesen
Erik Skettrup

1. Indledning

Armerede betonkonstruktioners levetid er i fokus. Øget bevidsthed og viden om holdbarhedens afhængighed af betonens sammensætning har medført udvikling af de såkaldte højkvalitetsbetoner, som tilfredsstiller denne forventning om lang levetid.

Højkvalitetsbetoner vil, når de udstøbes i geometrisk simple legemer med enkel armering, have stor modstand mod de nedbrydningsmekanismer, som forårsages af accelererende miljøbelastninger, der er foreskrevet i sædvanlig anvendte prøvningsmetoder.

Det er målet at opnå samme modstandsdygtighed for den beton, som er udstøbt i konstruktionerne. At nå dette mål betyder, at både krav til konstruktionsudformningen og udførelsen må opfyldes, for at også slutproduktet er højkvalitetsbeton.

Konstruktionsudformningen skal være sådan, at bygværkets forventede levetid sikres under forudsætning af, at udførelsen er fejlfri. Vejledningen omhandler ikke direkte sådanne forhold.

Meget komplicerede konstruktionsdele med vanskelig geometri og/eller tætliggende armering gør udførelsen problematisk. Derved øges risikoen for at fejl opstår ved udstøbningen - også selv om denne udføres omhyggeligt efter veltilrettelagte metoder. Disse udførelsesmetoder, som er tilpasset den komplicerede konstruktionsudformning, har primært til formål at undgå grove fejl.

Udførelsesmetoderne er således anderledes end sædvanlig anvendte metoder og medfører ofte en kvalitetsreduktion af den færdige konstruktion. Formålet med at undgå detaljer som medfører vanskelig udstøbning er således ikke kun at gøre arbejdet lettere for entreprenøren.

For hver enkelt konstruktionsdetalje beskrives de udførelsesvanskeligheder, som denne medfører. Ofte indeholder konstruktioner flere vanskelige detaljer i kombination f.eks. udsparinger, tætliggende armering og indstøbningsdele. De herved øgede vanskeligheder og risici for fejl må vurderes på grundlag af de samlede udførelsesmæssige vanskeligheder.

1.1 Formål

Vejledningens formål er at påpege forhold ved konstruktionsudformning som medfører forøget risiko for fejl ved udførelse af betonarbejdet - også selv om dette foretages omhyggeligt efter veltilrettelagte metoder. Vejledningen giver, hvor det er muligt, forslag til alternative, bedre løsninger.

Vel vidende, at disse løsninger ikke altid kan anvendes, giver vejledningen, hvor det er muligt, forslag til anden udformningsmæssig afhjælpning såvel som entreprenørmæssig bedst muligt udførelsesmetode.

Vejledningen er udarbejdet med tanke på in-situ støbte betonkonstruktioner, som udføres med højkvalitetsbeton i aggressive miljøer. Ofte er disse konstruktioner væsentligt mere komplekse end normalt forekommende, traditionelle konstruktioner. Vejledningen kan også med fordel benyttes til mere traditionelle konstruktioner.

1.2 Baggrund

Baggrundsmaterialet er de i fase 1 og 2 gennemførte undersøgelser, jf. forordet.

2. Geometri

Konstruktioner med lodrette og vandrette afgrænsninger giver udførelsesmæssigt de bedste resultater.

Det er ikke altid muligt at efterkomme denne simple regel, bl.a. fordi vandafvisning fra betonkonstruktioner også er vigtig for holdbarheden. Derfor vil skrå afgrænsninger forekomme.

2.1 Skrå afgrænsninger

Skrå afgræsninger kan have to principielt forskellige forløb som vist på Fig. 1 og 2.

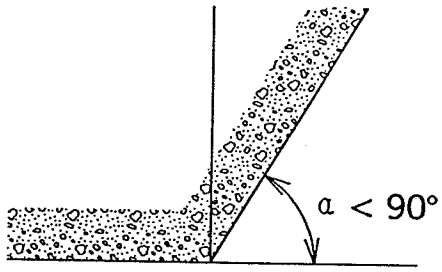


Fig. 1. Lodret snit.
Skrå afgrænsning med hældning $\alpha < 90°$.

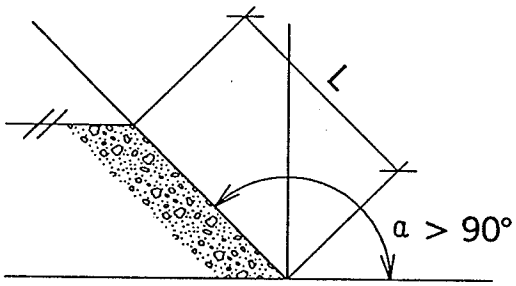


Fig. 2. Lodret snit.
Skrå afgrænsning med hældning $\alpha > 90°$.

Skrå afgrænsninger med hældninger $\alpha < 90°$ - se Fig. 1 - kan sædvanligvis udføres uden vanskeligheder.

Problem ($90° > \alpha$).
Skrå afgrænsninger med hældninger $\alpha > 90°$ - se Fig . 2 - støbes in-situ sædvanligvis mod overform. Effektiv vibrering under overformen er imidlertid vanskelig at udføre, særlig hvis støbesektionens udstrækning, L, er betragtelig.

Problemet er at luftbobler og evt. overskudsvand ved bleeding under vibreringen stiger op langs overformen. Hensynet til et passende luftindhold i konstruktioner, som er udsat for frost, betyder at vibreringsomfanget må begrænses. Derfor vil ikke alle luftansamlinger under overformen forsvinde ved normalt anvendt og anbefalet vibreringsomfang. Resultatet bliver en overflade med "lufthuller" som ofte er ½-1 cm dybe. Dette betyder igen en lokal reduktion af dæklaget. Vand og snavs, som indeholder aggressive stoffer, kan aflejres i de små huller og fremskynde nedbrydning.
Omfanget af sådanne defekter bliver større jo mere α overstiger 90°.

For konstruktioner, der kan fremstilles præfabrikerede, kan de beskrevne problemer undgås. For eksempel kan et kasseprofil, som vist på Fig. 5a og 5b støbes på "højkant" mod lodrette forme, der afgrænser tværsnittet. Da elementerne imidlertid skal transporteres og "vendes" ved endelig placering, benyttes denne fremgangsmåde fortrinsvis ved mindre konstruktionsenheder.

Afhjælpning - udformning ($\alpha > 90°$)
Bedst er at udføre konstruktionen uden den nævnte skrå hældning. Kan det ikke lade sig gøre, kan følgende tiltag øge kvaliteten/levetiden:

- forøget dæklag (se også afsnit 4.1.)
- brug af formdug

Afhjælpning - udførelse ($\alpha > 90°$)
For at sikre bedre vibrering af betonen under formen, kan benyttes vibratorledere, som vist på Fig. 3. Lederne kan f.eks. udføres af 5 langsgående rundjern ø8 påsvejst ringe med passende diameter.

Vibrering med stavvibrator i selve dæklaget er ikke tilrådeligt.Tynde støbelag kan forbedre resultatet.

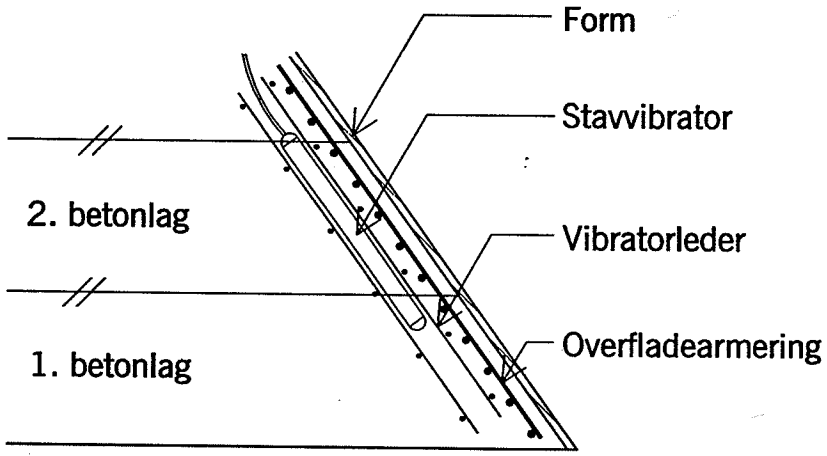


Fig. 3. Vibrering af beton under skrå form

Problem ($\alpha >$ ca. 160°)
Når den skrå hældning bliver stor $\alpha >$ ca. 160°, kan betonen udført in-situ ikke længere støbes mod en ubrudt form.
Det skyldes at vibrering med stavvibrator - i disse tilfælde - ikke kan sikres effektivt end ikke med brug af vibratorledere.
Derfor må vibrering gennemføres enten uden overform eller med overform med huller, der er så store (100 x 100 mm), at de tillader nedstik af vibrator.

Ingen af disse muligheder sikrer effektiv vibrering. Støbes uden form risikeres skred i betonen med mulige inhomogeniteter til følge. Støbes mod overform med huller er der risiko for større luftansamlinger under formen.

Afhjælpning - udformning (α > ca. 160°)
Jo mere α nærmer sig 180°, des mindre er problemet med effektiv vibrering, hvis der støbes uden overform. En sådan udformning med næsten vandret overflade skal derfor tilstræbes. Der skal dog tages hensyn til vandafvisning.

Eksempel 1, Fundamenter
Fig. 4a viser en ofte benyttet udformning af fundamentsplader med skrå afgrænsninger af den nævnte art.
Risiko for fejl ved udførelse uden overform er væsentligt mindre ved udformningen Fig. 4b, hvor faldet på oversiden f.eks. kun er 30‰. Hvis vandafvisning ikke er nødvendig, kan oversiden udføres vandret.

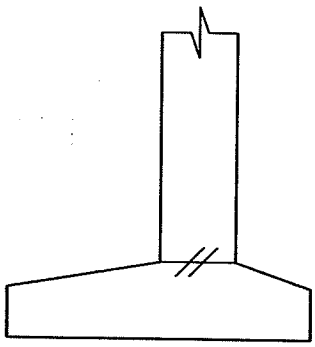


Fig. 4a Fundamentsplade traditionel udformning

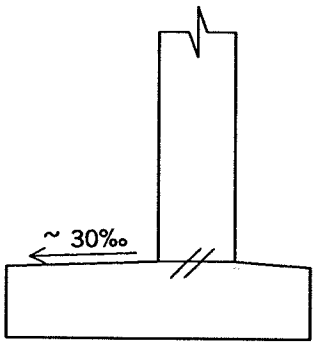


Fig. 4b. Fundamentsplade med svagt hældende overside

Kun hvis støbeskel placeres som vist, opnås den udførelsesmæssige fordel ved udformningen Fig. 4b. Hvis væggen eller en del af væggen skal støbes samtidig med fundamentet, kan overform (skørt) være nødvendig. Se herom i afsnit 2.4.

Eksempel 2, kasseprofiler
Fig. 5a viser en traditionel udformning af et kasseprofil med forstærkninger i overgang mellem bundplade og væg. Disse forstærkninger har skrå afgrænsninger af den omtalte art.

Risiko for fejl ved udførelsen uden brug af overform er væsentligt mindre ved udformningen Fig. 5b.

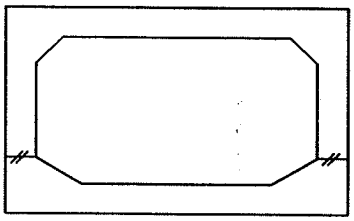


Fig. 5a Kasseprofil med forstærkning i overgang bund/væg.

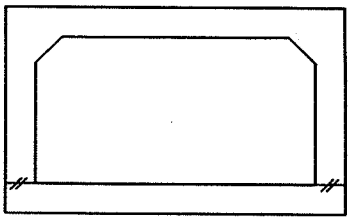


Fig. 5b. Kasseprofil. Bundplade med vandret overside

Ligesom i eksempel 1 kan den udførelsesmæssige fordel ved uformningen i Fig. 5b kun opnås hvis støbeskel placeres som vist. Miljøpåvirkninger kan gøre det nødvendigt at anbringe støbeskellet højere oppe. Det samme er tilfældet hvis der skal anbringes brede fugebånd, se afsnit 3.4.

Afhjælpning - udførelse (α > ca. 160°)
Den traditionelt anvendte udførelsesmetode er støbning mod overform, som placeres i takt med hvert nyt støbelag eller overform med huller, som tillader nedstik med stavvibrator. For næsten vandrette overflader (α > 170°) kan udførelsen gennemføres uden overform med "forsigtig" vibrering, så skred i betonen undgås.
Der kan evt. udføres forprøvning ved støbning af et repræsentativt prøvelegeme med den planlagte udførelsesmetode [2].

2.2 Afvandingsprofiler

Som nævnt i afsnit 2.1 vil en udformning med næsten vandret overflade mindske risiko for fejl ved støbning uden brug af overform.
Særlige forhold ved betonoverflader med komplekse profiler kan dog medføre forøget risiko. Sådanne komplekse profiler forekommer f.eks. ved afvandingsprofiler som vist Fig. 6.

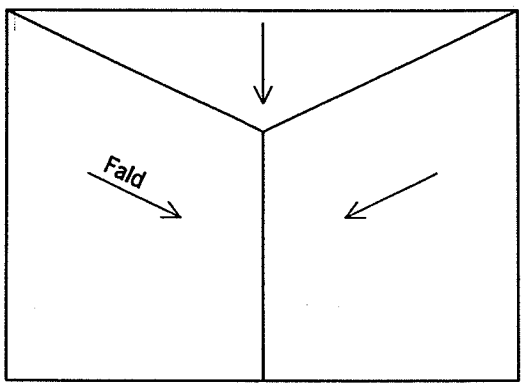


Fig. 6. Plan af betonoverflade med kompleks afvandingsprofil.

Problem (Afvandingsprofiler)
Det er vanskeligt at overholde den foreskrevne geometri også selv om der benyttes ledere og afretningsskinner. Vanskelighederne giver forøget risiko for inhomogeniteter specielt i overfladelaget. Hvis hovedarmeringen er anbragt i denne zone (se Fig. 7a), forringes korrosionsbeskyttelsen.

Afhjælpning - udformning (Afvandingsprofiler)
Sædvanligvis udformes dækplader, der har afvandingsprofiler, som én sammenhængende konstruktion uden vandret støbeskel - se Fig. 7a.
Af hensyn til risikoen for defekter i overfladelaget er udformningen med vandret støbeskel - se Fig. 7b - at foretrække, idet hovedarmeringen er anbragt udenfor den skrå overfladezone. Toplaget skal armeres for at undgå svindrevner, men det kan være en spinkel netarmering.

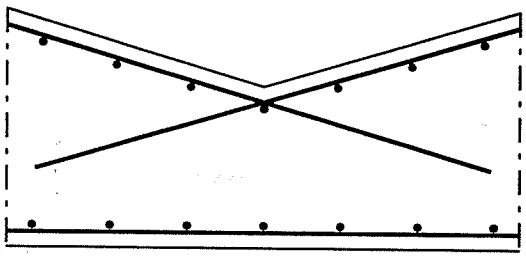


Fig. 7a Dækplade med afvandings-profil støbt i ét.

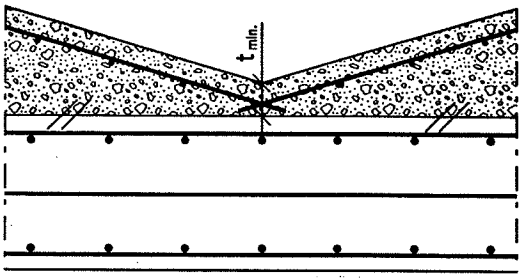


Fig. 7b. Dækplade med afvandings-profil. Separat toplag støbt mod støbeskel.
t_{min} = 3 gange største sten-størrelse.

Erfaringer viser imidlertid, at toplaget har tendens til at "slå fra" i støbeskellet, ved udformningen vist Fig. 7b. Herved øges mulighed for vandindtrængning langs støbeskellet med øget risiko for nedbrydning af den underliggende konstruktion. Der er således ulemper forbundet med begge udformninger.

Generelt anbefales den sædvanligt anvendte løsning Fig. 7a. Som nævnt er denne løsning i sig selv vanskelig at udføre. Derfor bør designet ikke indeholde yderligere detaljer som vanskeliggør udførelsen. For at kompensere for evt. forringet kvalitet af dæklaget, kan det overvejes at forøge dæklagets tykkelse. Se også afsnit 4.1.

Afhjælpning - udførelse (Afvandingsprofiler)
For at undgå sætningsrevner skal det øverste betonlag omkring og over armeringen først udstøbes, når den underliggende beton har sat sig. vibrering af overfladelaget udføres med bjælkevibrator, som bevæges på stift understøttede ledere. Hvis armeringsarrangementet er meget stift, kan bjælkevibratoren forsynes med "meder", som f.eks. kan være fladjern svejst på bjælkevibratorens underside. Medernes højde skal svare til dæklagets tykkelse. Når bjælkevibratorens meder har kontakt med armeringsjernene, bliver dæklagstykkelsen korrekt. Hvis overfladen skal glittes anbefales dette udført manuelt ved at benytte vibratorbjælken som gangbro og arbejdsplatform. Erfaringerne viser, at glitning med mekanisk glitteudstyr (helikopter) giver forøget risiko for inhomogeniteter og styrkemæssige svækkelser i dæklaget.

Der kan evt. udføres forprøvning ved støbning af et repræsentativt prøvelegeme med den planlagte udførelsesmetode [2].

2.3 Vægdimensioner

Udstøbningsvanskeligheder i vægge kan skyldes enten lille vægtykkelse eller stor højde.

2.3.1 Vægtykkelse

Problem (vægtykkelser)

Udstøbning af beton i tynde vægge med armering i begge sider kan være vanskelig. Støberør og/eller pumpeslanger skal kunne passere uhindret mellem armeringsnettene. Pumpeslanger er sædvanligvis 125 eller 100 mm i diameter.

Afhjælpning - udformning (vægtykkelser)

For at sikre fri passage af støberør og/eller pumpeslanger skal vægtykkelsen være så stor, at den frie afstand mellem armeringsnettene er mindst 150 mm.

Hvis væggens top er affaset eller forstærket med kantjern, skal den frie afstand mellem trekantlister og kantjern ligeledes være mindst 150 mm, se også afsnit 2.7 og 3.1.

Afhjælpning - udførelse (vægtykkelser)

Der findes pumpeslanger med diameter 75 mm. Erfaringer med brug af disse viser imidlertid stor risiko for pumpestop særlig ved pumpning af beton med store sten (32 og 25 mm). Flexible slanger (strømper) af stof, som f.eks. brandslanger, kan deformeres og derved passere gennem smallere åbninger. Den flexible slange monteres på pumpeslangen.

Ved udstøbning med flexibel slange er det vigtigt, at udmundingen hele tiden holdes over den allerede udstøbte beton i væggen. Dækkes udmundingen af beton, kan trykket i slangen blive så stort, at den sprænges.

2.3.2 Væghøjde

Problem (væghøjde)

Støbning og komprimering af betonen i høje vægge er vanskelig. Ensartet tykkelse af støbelag og korrekt placering af stavvibratorer i disse kan være meget vanskelig på grund af dårligt udsyn.

Udsynet er generelt nedsat ved stor væghøjde og nedsættes yderligere ved lille vægtykkelse, skrå væg og/eller kompliceret armering.

Derudover viser erfaringen, at det kan være svært at opnå det krævede luftindhold i den nederste zone af høje vægge, fordi trykket er stort.

Afhjælpning - udformning (væghøjde)

For at mindske risikoen for støbefejl og for lille luftindhold i vægge kan følgende vejledende maximale støbehøjder (total væghøjde eller afstand mellem støbeskel) anbefales:

H_{max} = 8 m for vægtykkelse over 0,6 m, lodret form og hensigtsmæssig armeringsføring 1).

H_{max} = 6 m for vægtykkelse over 0,6 m, skrå form og/eller uhensigtsmæssig armeringsføring 1).

H_{max} = 6 m for vægtykkelse 0,4-0,6 m, lodret form og hensigtsmæssig armeringsføring.

H_{max} = 5 m for vægtykkelse 0,3-0,4 m, lodret form og hensigtsmæssig armeringsføring.

H_{max} = 4 m for vægtykkelse under 0,6 m, skrå form og/eller uhensigtsmæssig armeringsføring.

Note 1) Ved hensigtsmæssig armeringsføring forstås i denne forbindelse armering, som tillader udsyn såvel mellem armeringsnettene som i dæklaget i begge sider.
Uhensigtsmæssig armeringsføring kan være tætliggende bøjler og/eller vandrette stødjern i væggens top. Det kan også være udsparingsrør til spændarmering.

Afhjælpning - udførelse (væghøjde)
Sikring af støbelag med ensartet tykkelse er vanskelig ved høje vægge. Den tilstræbte lagtykkelse fastlægges på grundlag af [1] og [2]. Afstanden mellem nedstik af pumpeslange skal nøje fastlægges på grundlag af betonens sætmål. Nedstiksafstanden bør ikke være større end 2 m. Den tid der pumpes ved hvert nedstik afpasses således, at betonlaget får den tilstræbte tykkelse.
Hvis støbelagenes tykkelse ikke er under kontrol og udsynet er dårligt, er det umuligt at sikre korrekt nedstik med stavvibrator.
Dårligt udsyn kan i nogen grad afhjælpes ved at arrangere "vinduer" i formen.
Der kan evt. udføres forprøvning til fastlæggelse af støbehastighed og vibreringsomfang [2].

2.4 Støbeskel

Støbeskelsplacering kan have stor indflydelse på betonarbejdets udførelse.

Som omtalt i afsnit 2.3 bør vægstøbninger ikke blive for høje, da det medfører forøget risiko for støbefejl på grund af dårligt udsyn. Meget høje vægge bør derfor ved hjælp af planlagte støbeskel opdeles i sektioner med passende højde.
Andre forhold gør sig gældende ved overgang mellem to forskellige tværsnitsformer. I det følgende behandles eksempelvis overgang væg/fundament i henholdsvis tværgående og langsgående retning.

2.4.1 Tværsnit væg/fundament

Problem (tværsnit væg/fundament)
Ofte placeres støbeskel mellem fundament og væg et stykke oppe i væggen, som vist på Fig. 8a. Der kan være holdbarhedsmæssige årsager til dette valg.

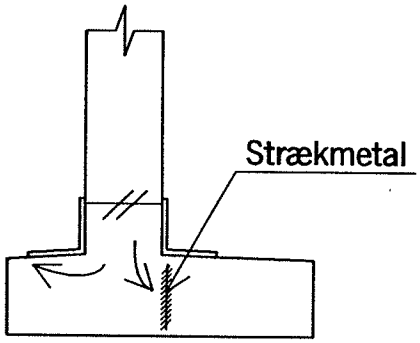


Fig. 8a Støbeskel placeret i væggen over fundament.

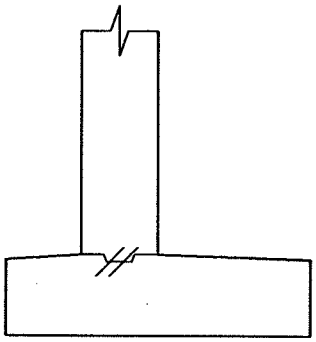


Fig. 8b Støbeskel placeret i fundamentets top.

Ved støbning af vægdelen under støbeskellet er der, på grund af betonens tryk, risiko for bevægelser i oversiden af fundamentsbetonen. Disse bevægelser kan medføre inhomogeniteter.
Des højere over fundamentet støbeskellet er anbragt, jo større er risikoen.

Afhjælpning - udformning (tværsnit væg/fundament)
Det udførelsesmæssige problem kan afhjælpes ved at placere støbeskellet i fundamentets top, som vist på Fig. 8b. Hvis dette giver holdbarhedsmæssige problemer, kan der suppleres med særlig beskyttelse af støbeskellet f.eks. ved hjælp af fugebånd.

Afhjælpning - udførelse (tværsnit væg/fundament)
De nævnte bevægelser kan hindres ved at anbringe overform (skørt) på fundamentet, som vist på Fig. 8a. Dette indebærer på den anden side, at overfladen bliver "hullet" efter opstigende luftbobler, som omtalt afsnit 2.1. En anden mulighed er at anbringe strækmetal i fundamentet, som vist på Fig. 8a. Strækmetal er imidlertid flexibelt og ikke særlig stift og bør derfor kun benyttes hvis trykket fra beton og vibrering ikke er for stort (støbeskellets højde over fundamentet bør ikke overstige 0,5 m). Strækmetallet kan virke revneanvisende. Derfor anbefales generelt udførelse med overform som kan forsynes med formdug hvis huller efter luftbobler ønskes reduceret.

2.4.2 Længdesnit væg/fundament

Problem (længdesnit væg/fundament)
Hvis fundamentsdybden er variabel, udformes fundamentet og støbeskellet undertiden med jævnt fald, som vist på Fig. 9a.

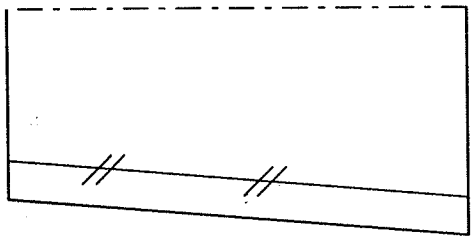


Fig. 9a Langsgående jævnt fald på fundament.

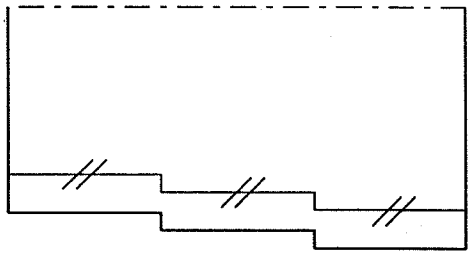


Fig. 9b Langsgående fundament med aftrappet forløb.

Herved kan der opstå de problemer ved skrå overflader, som er beskrevet afsnit 2.1. Særlig problematisk er imidlertid støbeskelszonen, fordi opragende stødjern til væggen gør afretning vanskelig. Hvis der også skal placeres fugebånd, forøges vanskelighederne yderligere - se afsnit 3.4.

Afhjælpning - udformning (længdesnit væg/fundament)
De nævnte vanskeligheder med risiko for fejl kan afhjælpes ved at udføre fundamentet aftrappet med vandret overflade som vist på Fig. 9b.

Afhjælpning - udførelse (længdesnit væg/fundament)
Der kan ikke peges på nogen speciel afhjælpning.

2.5 Udsparinger

Udsparinger er generelt til gene for udstøbningsprocesserne med deraf følgende risiko for fejl.

De forhold som har størst betydning er:
- Udsparingernes geometri
- Udsparingernes placering
- Armering
- Fugebånd

I det følgende belyses forholdene.

2.5.1 Udsparing, geometri

Problem (Udsparing, geometri)
Det primære problem ved udførelse af udsparinger er at sikre korrekt udstøbning under udsparingen. Desuden vil den nederste flade, som er overforskallet, være særligt udsat for forekomst af lufthuller efter opstigende luftbobler. Vanskelighederne øges naturligvis ved kompleks armering.

Afhjælpning - udformning (udsparing, geometri)
De beskrevne problemer er størst for udsparinger med stor horisontal udstrækning. Derfor bør denne begrænses. Maximal udstrækning er afhængig af udsparingens placering se afsnit 2.5.2.

Udstøbningsteknisk er cirkulære, ovale og rhombeformede udsparinger bedre end kvadratiske og rektangulære, fordi opstigende luftbobler har større mulighed for at undslippe. Armeringsarrangementet er imidlertid mere komplekst for de første nævnte former, da armeringsjernene sædvanligvis ikke kan indpasses i hovednettenes planer. Derved kan der blive indtil 4 lag armering i hver side af væggen lokalt omkring udsparingen. Cirkulære, ovale og rhombeformede udsparinger er derfor kun fordelagtige for relativt tykke vægge og bjælker.

Ofte udføres udsparinger til cirkulære rør kvadratiske. Når røret senere er anbragt, efterstøbes hulrummet. Hvis væggen er tilstrækkelig tyk (armeringshensyn; se ovenfor), kan udsparingen med fordel vendes 45°, som vist Fig. 10b. Denne udformning letter også den efterfølgende tilstøbning omkring røret.

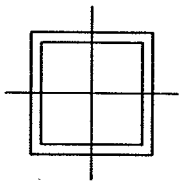


Fig. 10a Kvadratisk udsparing, traditionel placering.

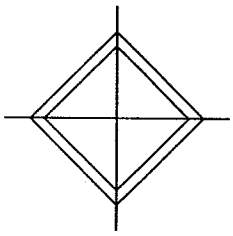


Fig. 10b Kvadratisk udsparing drejet 45°. Fordelagtig ved relativt tykke vægge.

For at mindske omfanget af lufthuller i den nederste flade af rektangulære udsparinger, kan der foreskrives brug af formdug.

Afhjælpning - udførelse (udsparing, geometri)
Udstøbning under udsparinger udføres bedst som vist på Fig. 11. For at mindske omfanget af "lufthuller" i den nederste flade i rektangulære udsparinger kan der benyttes formdug. Hvis formopbygningen tillader det, kan man vente med at placere udsparingens bund, indtil støbningen er nået op i dette niveau og er afrettet.

Har udsparingen stor horisonal udstrækning (længde over 1 m) kan udstøbning udføres gennem rør, der føres gennem udsparingen, som vist på Fig. 12. Afstanden mellem rørene er afhængig af betonens konsistens, men bør ikke være over 1,0 m.
Der kan evt. udføres forprøvning, se [2].

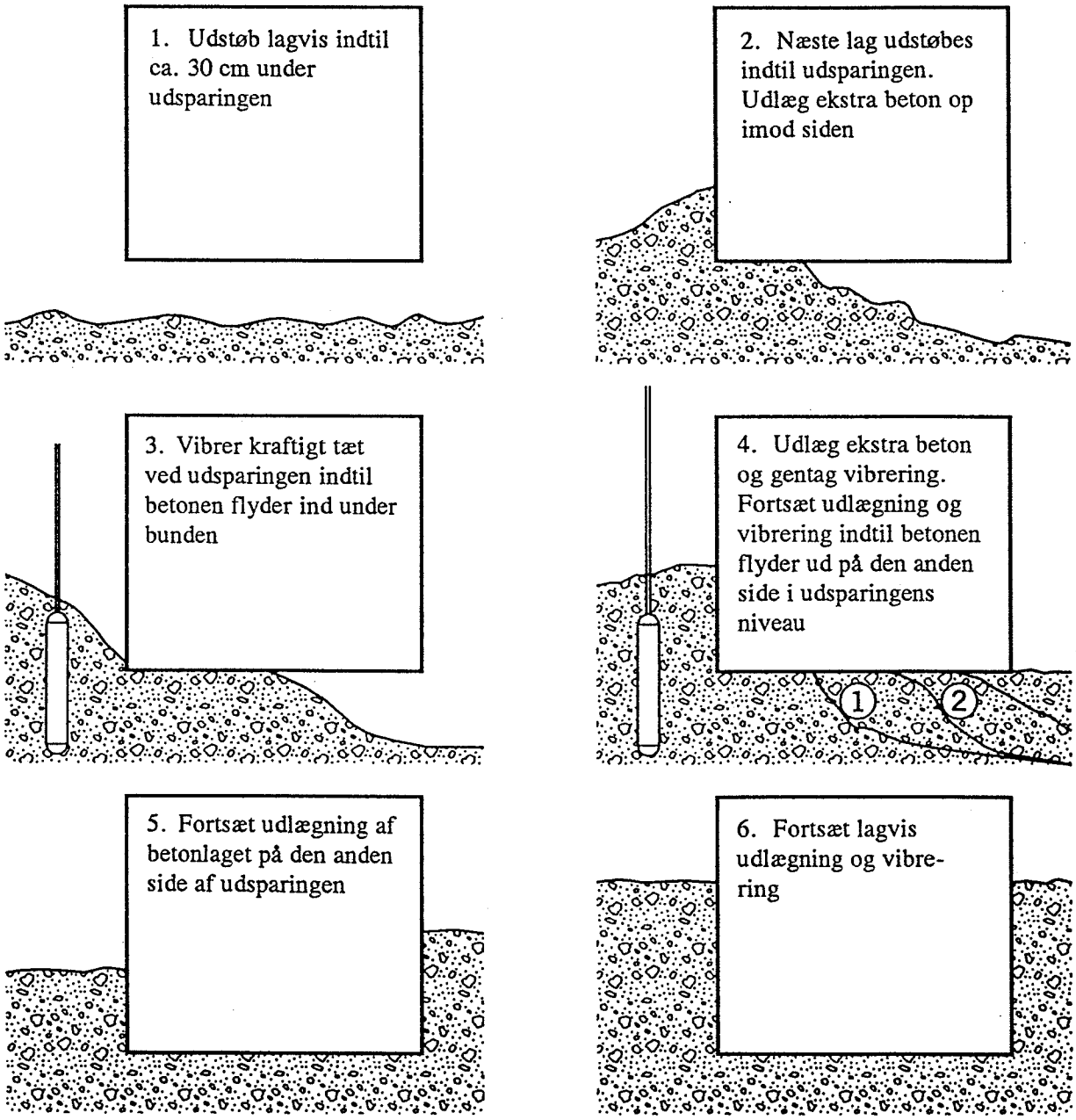


Fig. 11. Udstøbning af beton under udsparing.

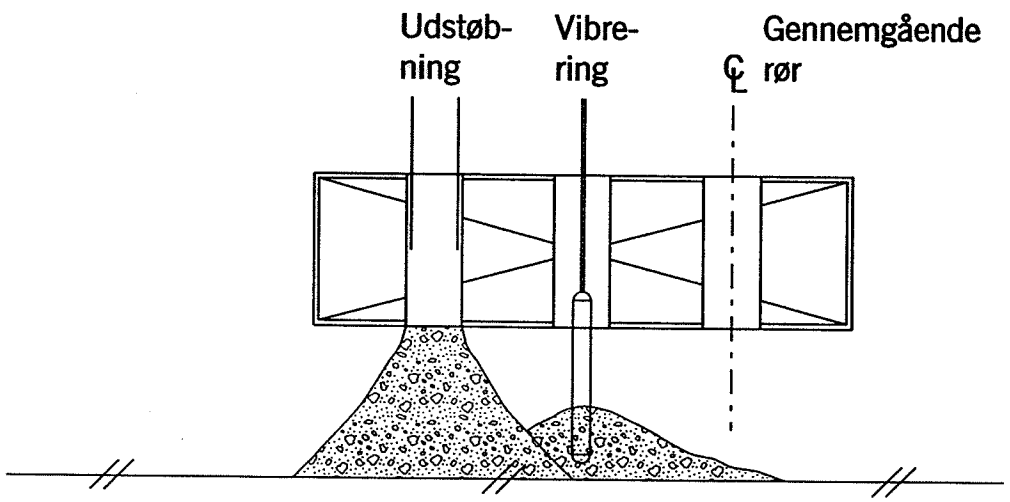


Fig. 12. Udstøbning og vibrering af beton under udsparing med stor horisontal udstrækning.

2.5.2 Udsparing, placering

Problem (udsparing, placering)

De tidligere beskrevne vanskeligheder øges væsentligt, hvis afstanden fra udsparingens underside til det underliggende støbeskel er lille.

Afhjælpning - udformning (udsparing, placering)

For at sikre rimelige udførelsesforhold bør afstanden fra udsparingens underside til det underliggende støbeskel ikke være mindre end halvdelen af udsparingens længde. Fig. 13a viser en uhensigtsmæssig placering både af støbeskel (se afsnit 2.4) og af udsparing. Den 1,0 m lange udsparing er anbragt 0,2 m over støbeskel, hvilket er mindre end halvdelen af udsparingens længde.

Ved at flytte støbeskellet til oversiden af fundamentet som vist på Fig. 13b, opnås netop den tilrådelige afstand (0,5 m) mellem støbeskel og udsparing. Samtidig opnås den gunstigste støbeskelsplacering.

Alternativt kan højden af udsparingen, Fig. 13a, forøges med 200 mm. Herved går udsparingen helt ned til støbeskel og der skal derfor slet ikke udstøbes under udsparingen.

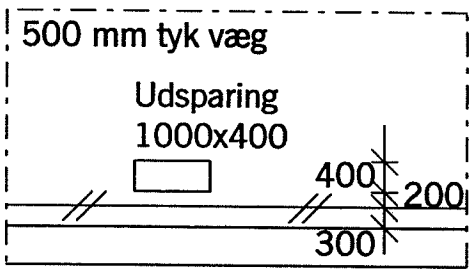


Fig. 13a. 1 m lang udsparing anbragt 200 mm over støbeskel.

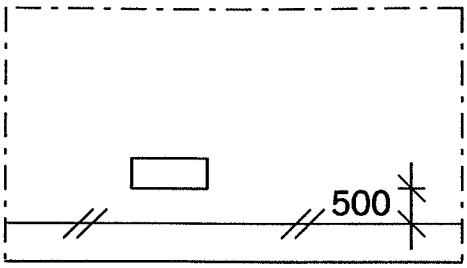


Fig. 13b. Samme udsparing anbragt 0,5 m over støbe-

Afhjælpning - udførelse (udsparing, placering)

Ved brug af støberør gennem udsparingen sikres god udførelse. Se Fig. 12.

2.5.3 Udsparing, armering og fugebånd

Problem (udsparing, armering og fugebånd)

Sædvanligvis ilægges supplerende armering langs udsparingens kanter. Hvis udsparingen, efter tilstøbning, bliver udsat for vandtryk, kan indstøbning af fugebånd i udsparingens midte være krævet.

I nogle tilfælde, hvor en senere tilstøbning skal foretages, kan det være nødvendigt, at udsparingen forsynes med stødjern.

Alle disse forhold kan enkeltvis eller i kombination umuliggøre udstøbningsmetoden gennem rør, som vist på Fig. 12. Kun ved meget tykke vægge kan det måske lade sig gøre.

Afhjælpning - udformning (Udsparing, armering og fugebånd)
Armeringsarrangementet omkring lange udsparinger (over 1 m), skal udformes således, at der er mulighed for at føre støberør gennem udsparingen sådan som det er vist på Fig. 12. Den supplerende armering bør derfor i størst muligt omfang placeres langs væggens sider og helst i samme retninger som den ordinære armering (d.v.s. helst ikke skråjern). Hvis stødjern er nødvendige, bør de forberedes ved istøbning af armeringskoblinger. Fugebånd bør undgås og alternativ tætning overvejes f.eks. med brug af bentonite, som ekspanderer og tætner ved vandtilførsel eller injicerbare støbeskelsbånd.
Bliver udsparingsarrangementet kompliceret, kan det være bedre at indstøbe den komponent, som der udspares for. Rør, som indstøbes, kan forsynes med tætningskraver og evt. med injektionsslanger for efterinjicering.

Afhjælpning - udførelse (udsparing, armering og fugebånd)
Hvis udførelsesmetoden med støbning gennem rør ikke er mulig p.g.a. armering m.v., kan der skæres hul i selve vægformene. Herved bliver der adgang til udsparingskassen og beton kan udstøbes gennem midlertidige åbninger i udsparingskassens bund. Denne løsning er ikke realistisk ved brug af stålforme og systemforskalling.

2.6 Recesser
Gener ved udstøbning og komprimering af beton under recesser som vist på Fig. 14a er af samme art som nævnt i afsnit 2.5 Udsparinger. Jo dybere recessen er, jo større er ligheden.

Problem (Recesser)
Det generelle problem er, at opstigende luftbobler samler sig under den nederste, vandrette recessform - se Fig. 14a. Efter afforskalling fremstår denne betonflade ofte med huller efter luftansamlingerne.

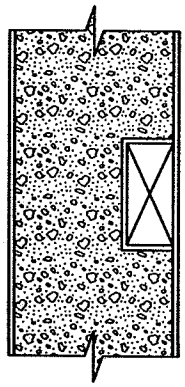


Fig. 14a Recess med vandret underside.

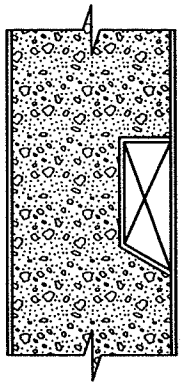


Fig. 14b Recess med skrå underside.

Afhjælpning - udformning (Recesser)
Omfanget af huller i den nederste, vandrette flade kan reduceres, hvis den udføres med skrå underside, som vist på Fig. 14b. Yderligere reduktion kan opnås ved at foreskrive brug af formdug på denne flade.

Afhjælpning - udførelse (Recesser)
Omfanget af huller i den nederste, vandrette flade kan reduceres, hvis bundfladen forsynes med formdug.

2.7 Affasninger

Affasninger udføres med trekantlister, som fastgøres til formen - se Fig. 14a. Affasninger reducerer tværsnittet lokalt og kan derved volde problemer både design- og udførelsesmæssigt. Udførelsesmæssigt er problemerne primært knyttet til affasninger i toppen af vægge. Problemernes art belyses i det følgende.

Problem (Affasninger)
Væggen Fig. 15a skal forsynes med trekantlister af stor dimension i forhold til vægtykkelsen. Trekantlisterne reducerer den frie åbning, hvorigennem støbning skal foretages. Bliver åbningen for lille, kan traditionel støbning med pumpe ikke gennemføres.

Ilægges armeringen således, at den overholder dæklaget, c, til den vandrette overflade, kan dæklaget mod affasningen, c_1, ved små bukkeradier blive mindre end c.

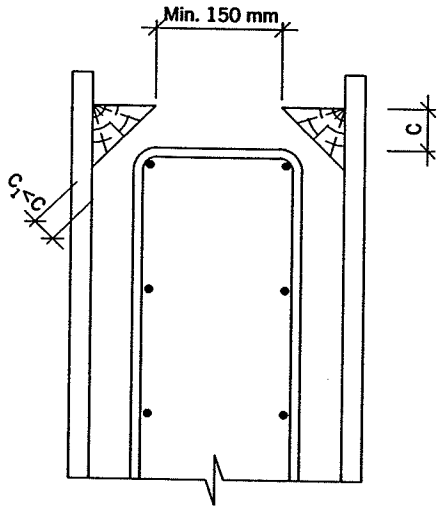


Fig. 15a Væg med affasning. Reduceret dæklag mod affasning.

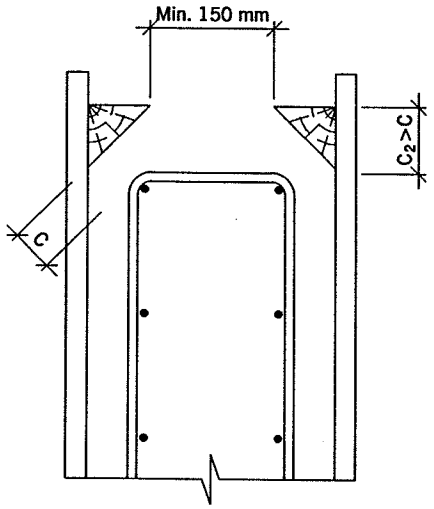


Fig. 15b Væg med affasning. Forøget dæklag mod væggens top.

Afhjælpning - udformning (affasninger)
Udformningen skal være sådan, at den frie afstand mellem trekantlisterne og mellem armeringsnettene mindst er 150 mm. For at sikre dæklagets størrelse, c, ved affasningen, kan armeringen udføres som vist på fig. 15b. Herved forøges ganske vist dæklaget for den vandrette armering i væggens top.

Afhjælpning - udførelse (affasninger)
Hvis den frie afstand mellem affasningerne er mindre end 150 mm, kan der benyttes flexible slanger (strømper). Se afsnit 2.3.

2.8 Trapezformede riller og drypnæser

Støbeskel forsynes til tider med trapezformede riller, se Fig. 16, og med drypnæser. Sådanne riller og drypnæser fremkommer ved at fastgøre profillister i formen.

Problem (Trapezformede riller og drypnæser)
Spinkle profillister har tendens til at vride og slå sig. Når profillistens stivhed er lille, er der risiko for deformationer og det gælder også selv om sømafstanden er lille. Resultatet kan blive riller i betonfladen med forkert geometri og afrevne kanter.

Afhjælpning - udformning (Trapezformede riller og drypnæser)
Forholdet kan afhjælpes ved at gøre riller og drypnæser tilstrækkeligt dybe og brede. Dybden og bredden bør være mindst 20 mm. Profillister med denne tykkelse har tilstrækkelig stivhed.

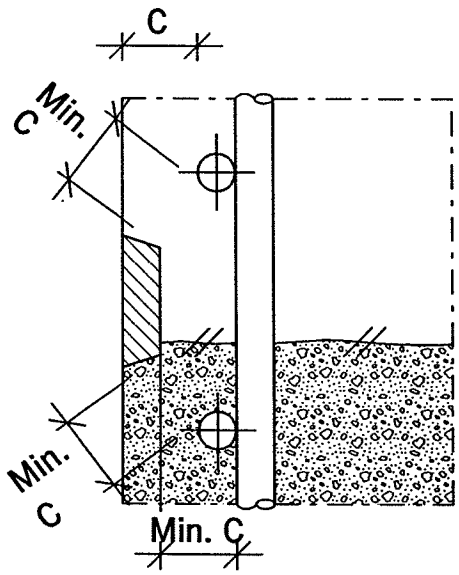


Fig. 16. Udformning af trapezformet rille og armering omkring denne.

For at sikre overholdelse af dæklaget, c, må følgende betingelser være opfyldt:

- Den yderste armering skal være parallel med rillen.
- Afstanden fra rillen til nærmeste armeringsstænger skal være større end dæklaget, c.

Hvis disse forudsætninger ikke kan opfyldes, kan dæklaget generelt øges (se også afsnit 4.1).

Afhjælpning - udførelse (Trapezformede riller og drypnæser)
Der kan ikke peges på nogen speciel afhjælpning udover meget lille sømafstand ved fastgørelse af spinkle profillister.

3. Indstøbte dele

Indstøbning af forskellige dele i betonen er generelt til gene for udstøbning og komprimering.
Jo større, jo flere og jo mere komplexe delene er, jo større er risikoen for at omstøbningen ikke bliver effektiv.
For indstøbningsdele med vandrette flader er der risiko for luftansamlinger med nedsat adhæsion til følge. Skrå og konkave flader reducerer risikoen.
Derudover gælder:

Komponenter, der ikke rager udenfor den betonflade, som de indstøbes i, giver de bedste betingelser for god udstøbning.

Hvis geometri eller virkemåde ikke tillader total indstøbning af komponenten er det - set fra et udførelsesmæssigt synspunkt - bedre at udføre en recess eller udsparing og foretage indstøbningen efter afforskalling.

I det følgende belyses problemerne for nogle ofte forekommende indstøbningsdele.

3.1 Kantjern

Kanter på konstruktioner som udsættes for stød og slag forstærkes ofte med kantjern.

Problem (kantjern)
Brede kantjern i oversiden af vægge og bjælker kan reducere den frie åbning, hvorigennem støbning skal foretages. Forholdet er identisk med problemerne ved affasninger (se afsnit 2.7).

Afhjælpning - udformning (kantjern)
Udformning skal være sådan, at den frie afstand mellem kantjern i oversiden af bjælker og vægge er mindst 150 mm.

Afhjælpning - udførelse (kantjern)
Afhjælpningsmetoderne er identiske med de for affasninger anførte (se afsnit 2.7).

3.2 Udsparingsrør

I nogle konstruktioner benyttes udsparingsrør for at reducere egenvægten. Udsparingsrør er til gene for udstøbning og vibrering og kan føre til alvorlige fejl. Fig. 17 viser støbning af et dæk med udsparingsrør.

Fig. 17. Støbning af forspændt dæk med korrugerede udsparingsrør.

Problem (udsparingsrør)
Ved udstøbningen er der risiko for, at betonens tryk deformerer udsparingsrørene og opdriften kan føre til, at rørene forskubbes.
Særlig udsparingsrørenes koniske ender kan være svære at fastholde ved støbningen.
Disse deformationer medfører risiko for, at længdefaldet i rørene ikke kan opretholdes - med vandansamlinger og ledsaget nedbrydning til følge.
Derudover er sikring af effektiv støbning under rørene vanskelig.

Afhjælpning - udformning (udsparingsrør)
Brug af udsparingsrør skal nøje overvejes.
For at minimere risikoen for deformationer bør godstykkelsen foreskrives. Udsparingsrør skal forsynes med dryprør.
For bedst muligt at tilgode effektiv støbning under udsparingsrørene bør den frie afstand mellem rørene ikke være mindre end 0,7 gange rørdiameteren.
Endelig skal armeringsarrangementet for såvel slap som spændt armering mellem rørene tillade tilstrækkeligt udsyn og nedstiksmulighed for stavvibrering.

Afhjælpning - udførelse (udsparingsrør)
For at sikre god udførelse, bør følgende tilgodeses:

- fastgørelse af rørene til underlaget skal være udbredt over et tilstrækkeligt stort areal for at sikre mod opdrift.
- fastgørelse af rørenes koniske ender kræver omhyggelig fastgørelse til underlaget

Når fastgørelsen er sikret, kan udstøbningen begynde.
Ved udstøbningen er det vigtigt at sikre fuldstændig betonudfyldning under rørene. Dette opnås bedst når der arbejdes systematisk fra tværsnittets ene side mod den anden - sådan at understøbning er fuldført på udsparingsrørets ene side inden der tilføres beton fra den anden side.

I langsgående retning kan udstøbningen foretages på to forskellige måder.

a. Horisontale støbelag.

Ved denne metode sker udstøbningen i vandrette lag. Støbningen bør ske skiftevis fra hver side og med vekslende tykkelse af støbelagene - se Fig. 18. Herved mindskes den vandrette kraft på røret. Det kan være nødvendigt at holde pause, når betonoverfladen har nået en højde, som svarer til rørenes centerlinie (lag nr. 3 på Fig. 18). Herved reduceres opdriften. Først når denne beton er blevet tilstrækkelig kohæsiv, udstøbes den efterfølgende, ovenliggende beton.

En sådan pause i støbearbejdet kan betyde, at de normalt accepterede maximale tider for betonoverflader, som ikke beskyttes mod udtørring, ikke kan overholdes.

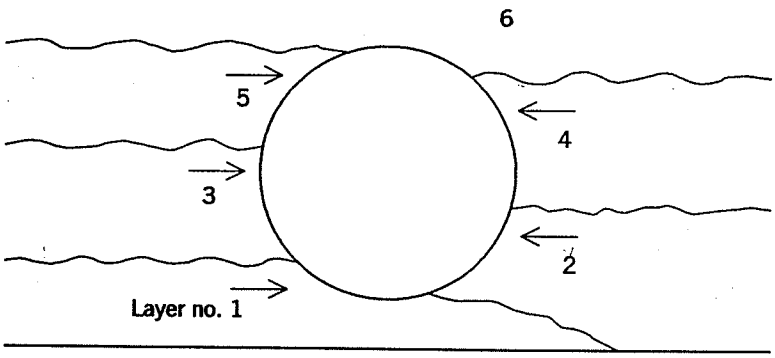


Fig. 18. Udstøbning omkring udsparingsrør. Horisontale støbelag.

b. Skrå støbelag.

Ved denne metode, som kan være nødvendig ved store støbninger, sker støbningen i langsgående retning med hældende støbefront, som er udstrakt over hele tværsnittet - se Fig. 19.

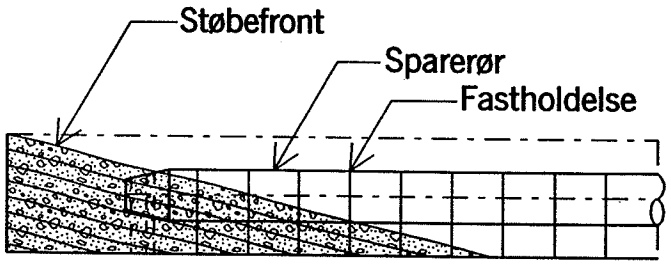


Fig. 19. Udstøbning omkring udsparingsrør. Skrå støbelag.

Betonen vil på de først udstøbte dele af udsparingsrørene være så kohæsiv, at røret ikke er opdriftpåvirket. Tværtimod virker betonen, der ligger over rørene som kontravægt for de rørdele, som er opdriftpåvirkede. Den gunstige virkning er størst ved langsom udstøbning med tynde betonlag. Metoden forudsætter, at der eftervibreres for at hindre sætningsrevner over rørene og hulrum under dem.

3.3 Kølerør

Temperaturregulerende foranstaltninger som nedsætter risikoen for at revner opstår i betonens hærdefase vinder mere og mere udbredelse. Ofte er bestemmelser desangående udmøntet i krav om maksimaltemperaturer og temperaturforskelle.

Massive konstruktioner udvikler meget varme og det kan derfor være nødvendigt at sænke temperaturniveauet f.eks. ved at køle den hærdnende beton med koldt vand, som føres gennem konstruktionen ved hjælp af indstøbte kølerør af plast eller stål.
Støbes en sådan massiv konstruktion imod en støbesektion, som er blevet kold, kan det være vanskeligt at overholde kravet til middeltemperaturforskellen mellem de to konstruktionsdele. I sådanne tilfælde er det ikke altid tilstrækkeligt at køle den sidst støbte sektion [3]. Den kolde sektion må opvarmes, og det kan f.eks. ske ved at cirkulere varmt vand gennem rør, som tidligere, i sektionens hærdefase, blev benyttet til koldt vand.

Køling med kølerør er den mest effektive temperaturreguleringsmetode.

Indstøbning af kølerørene kan være til gene for udstøbning og komprimering af betonen.

Problem (Kølerør)
Kølerør anbringes som regel i den midterste del af konstruktionerne, da varmen er vanskeligst at lede bort derfra.

I massive konstruktioner med stort volumen må kølerør ofte anbringes i lag med ca. 0,5 m afstand mellem lagene og indbyrdes mellem rørene.

Også i tynde vægkonstruktioner kan det være nødvendigt at indstøbe kølerør, hvis væggene skal støbes sammen med tidligere støbte vægge, som er afkølet til omgivelsernes temperatur. Kølerør anbragt midt i væggen kan vanskeliggøre udstøbning og vibrering.

Afhjælpning - udformning (Kølerør)
Massive konstruktioner med stort volumen bør om muligt undgås. Særligt er kravene til middeltemperaturforskelle vanskelige at opfylde, hvis en sådan konstruktion støbes sammen med en tidligere udstøbt, kold konstruktion.

Blandt andet på grund af kravet om lille temperaturforskel mellem støbesektioner har placering af støbeskellene stor betydning for det totale omfang af køling.
Den planlagte udførelsestakt har ligeledes stor betydning bl.a. for temperaturniveauet i de sektioner, der skal støbes imod.
Den optimale løsning bør derfor tage hensyn til begge disse betydende forhold.

Et konstruktivt samarbejde om de hærdetekniske forhold i planlægningsfasen er derfor vigtigt.

Afhjælpning - udførelse (Kølerør)
Her behandles kun de forhold ved placeringen af kølerør, som skal tilgodeses for at sikre god for udstøbning og effektiv vibrering. Angående revnebegrænsende foranstaltninger henvises til [3].

Kølerør i vægge anbringes i midten, hvor temperaturniveauet ellers ville blive størst. Anbringes rørene vandret, reduceres den frie åbning, gennem hvilken udstøbning og vibrering skal foregå - se Fig. 20. Åbningen bør være mindst 150 mm. Kan det ikke lade sig gøre, kan kølerørene i stedet placeres i lodrette strenge med vandret forbindelse jævnt fordelt i top og bund. Herved bliver der jævnt fordelte åbninger med tilstrækkelig lysvidde.

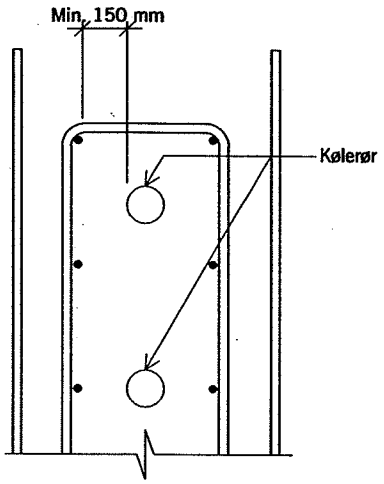


Fig. 20. Kølerør i midte af væg.

Kølerør bør ikke placeres i områder med tæt armering, hvor effektiv vibrering i forvejen er vanskelig. Specielt må kølerør ikke anbringes for nær forankringszonen ved spændt armering.

3.4 Fugebånd

Støbeskel i konstruktioner, som udsættes for vandtryk, forsynes ofte med fugebånd. Sædvanligvis benyttes fugebånd af PVC, som indstøbes i støbeskellet. Støbeskelsfugebånd placeres enten i midten eller mod den side, hvor vandtrykket kan forekomme. Se Fig. 21 og 22.

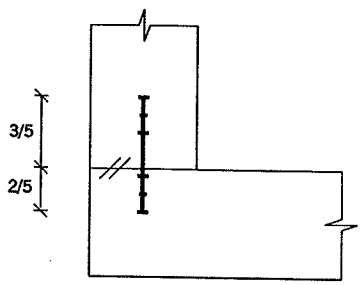


Fig. 21 Støbeskelsfugebånd placeret i midten

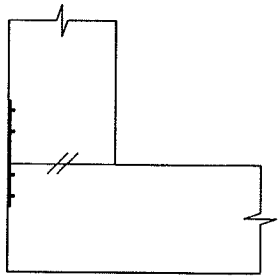


Fig. 22 Støbeskelsfugebånd placeret i siden.

Problem (Fugebånd)

Støbeskelsfugebånd, som anbringes i midten af væggen (Fig. 21) kan være vanskelige at fastholde i korrekt position.

Støbeskelsfugebånd af PVC bliver bløde, når de opvarmes af solen. Deformationerne kan føre til foldninger, hvorved der er risiko for at den på Fig. 21 og 22 viste placering ikke overholdes. Ved udstøbningen af den nederste konstruktionsdel, hvori fugebåndet er anbragt, beværliggøres støbningen af selve fugebåndets tilstedeværelse, særlig når det er anbragt i midten (Fig. 21). Resultatet kan blive, at fugebåndet ikke indstøbes med den anbefalede bredde (2/5). Er der gennemgående vandret armering i oversiden af den nederste konstruktionsdel, kan fugebåndet ikke indstøbes med den anbefalede bredde (2/5).

Særligt problematisk er fugebånd anbragt i plader (Fig. 23). Her er der risiko for, at betonen under det vandrette fugebånd ikke omslutter fugebåndet helt. Opstigende luftbobler og sætninger kan være medvirkende årsag hertil. Støbeskellene bliver da utætte trods fugebånd.

Afhjælpning - udformning (Fugebånd)

Det skal overvejes hvilken fugebåndstype, der anvendes. For at modvirke reduktion af dæklag ved deformation af fugebånd anbragt i siden (Fig. 22) kan forøget dæklag (f.eks. + 10 mm) foreskrives - se også afsnit 4.1. Er der gennemgående vandret armering i oversiden af den nederste konstruktionsdel, kan fugebånd i midten kun anbringes korrekt, hvis støbeskellet placeres et stykke oppe i væggen, se Fig. 24. Dette medfører yderligere komplikationer ved udstøbningen jf. afsnit 2.4. Der findes injicerbare fugebånd og fugebånd af bentonit, som ekspanderer ved vandtilførsel og derved stopper vandets videre bevægelse. Disse typer giver mindre risiko for fejlagtig placering og inhomogeniteter i betonen.

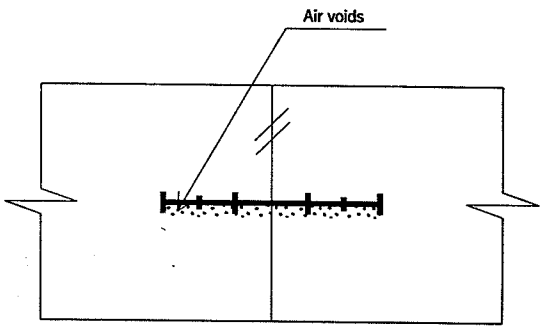


Fig. 23. Støbeskelsfugebånd i plader

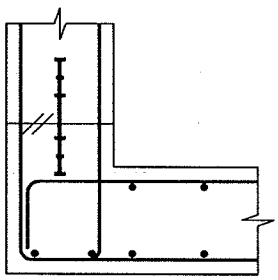


Fig. 24. Støbeskelsfugebånd ved gennemgående oversidearmering.

Afhjælpning - udførelse (Fugebånd)

For at sikre korrekt form og placering af fugebånd anbragt i siden, Fig. 22, kan fugebåndet fastgøres til en 2 mm stålplade, som anbringes imod formen.

4. Slap armering

En forudsætning for at armering i betonkonstruktioner er virksom i bygværkets forventede levetid er, at den er effektivt beskyttet mod korrosion. Dæklagets tykkelse og kvalitet er derfor af afgørende betydning.

4.1 Dæklag

I "Anvisning i brug af højkvalitetsbeton til udsatte anlægskonstruktioner" [4] er der givet en detaljeret beskrivelse af de forhold ved konstruktionsudformning og betonarbejdets udførelse, som har indflydelse på dæklagets kvalitet.

Dæklag specificeres med en minimumstykkelse, c_o afhængig af miljøklassen. Det foreskrevne dæklag, c, som ved afstandsklodser tilstræbes overholdt ved udførelsen, fremkommer som
minimumstykkelsen + et tolerancetillæg Δc. Ved spændingsberegninger benyttes
$c = c_o + \Delta c$.

Hovedarmering kræves i Danmark ilagt med en nøjagtighed svarende til tegninger ± 10 mm. De acceptable afvigelser bliver da:

For tolerancetillæg $\Delta c \geq 10$ mm: ±10 mm.
For tolerancetillæg $\Delta c < 10$ mm: +10/- Δc.

Problem (Dæklagstykkelse)
Små tolerancetillæg f.eks. $\Delta c = 5$ mm betyder, at armeringen skal anbringes med en nøjagtighed svarende til tegninger +10/-5 mm og skal forblive i denne position under og efter støbning.
En så nøjagtig placering kan være overmåde vanskelig og i nogle tilfælde praktisk umulig. Her tænkes på overflader, som ikke støbes imod form og specielt på profilerede overflader - se afsnit 2.2. For i det mindste at sikre overholdelse af minimumsdæklaget tilstræbes udførelsen af sådanne betonkonstruktioner ofte gennemført med forøget dæklag.

Afhjælpning - udformning (Dæklagstykkelse)
Store tolerancetillæg giver større sikkerhed for overholdelse af minimumsdæklaget. Eurocode 2 angiver tolerancetillægget for in-situ støbte konstruktioner fra 5 til 10 mm. DS 411 angiver, at tolerancetillægget ikke bør vælges mindre end 5 mm. DIN 1045 angiver 10 mm og i Norge [5] benyttes 10-15 mm.
En forøgelse af tolerancetillægget medfører ganske vist en forøget armeringsmængde. Hvis anvendelsesgrænsetilstanden er dimensionsgivende, vil f.eks. en forøgelse af tolerancetillægget fra 5 til 15 mm for ø 20 mm armeringsjern med minimumsdæklag 40 mm føre til en armeringsforøgelse på ca. 5%, når DS 411 anvendes. Forøges tolerancetillægget i stedet fra 5 til 10 mm, bliver armeringsforøgelsen kun ca. 3%.

Der er således tale om beskedne armeringsforøgelser og det anbefales at benytte større tolerancetillæg for konstruktioner, som er vanskelige at udføre, f.eks. overflader, der ikke støbes imod form. Herved opnås større sikkerhed for at minimumsdæklaget overholdes under hensyn til reel udførelsesnøjagtighed.

Hvis minimumsdæklaget, c_o, øges f.eks. på grund af lokale tværsnitsreduktioner, f.eks. fugebånd eller trapezformede riller, vil det ligeledes medføre en lille forøgelse af armeringsmængden, såfremt anvendelsesgrænsetilstanden er dimensionsgivende.

Afhjælpning - udførelse (Dæklagstykkelse)
For at sikre, at armeringsjern i oversiden af dæk forbliver i korrekt position, skal der anbringes afstandsholdere mellem øverste og nederste armeringsnet. Afstanden mellem afstandsholderne må ikke være for stor, da belastning fra færdsel på armeringen derved kan deformere armeringen. Under afstandsholderne og det nederste armeringsnet anbringes afstandsklodser, som sikrer dæklaget for den nederste armering og desuden overfører belastninger fra afstandsholderne til form og stillads.

For at sikre korrekt dæklag skal afstandsholdere mellem armeringsnettene og afstandsklodserne udføres med stor nøjagtighed. Tolerancen på afstandsklodserne bør være +5/-0 mm. Belastning fra færdsel på armering i oversiden bør fordeles ved hjælp af planker eller plader.

4.2 Afstand mellem armeringsjern

Lille afstand mellem armeringsjern gør effektiv vibrering vanskelig.

Problem (Afstand mellem armeringsjern)
Normer foreskriver en mindste fri afstand mellem armeringsstænger i samme lag, som afhænger af stængernes diameter og største stenstørrelse i betonen. I praksis er afstanden typisk 50 mm (for ø 25 og største stenstørrelse 32 mm) efter DS 411 men kun 37 mm efter Eurocode 2.
Små frie afstande kan i vægge medføre risiko for, at komprimeringseffekten fra stavvibrering ikke i tilstrækkelig grad trænger gennem maskerne og ud i dæklaget. Desuden er der risiko for en "sigtevirkning", hvorved de større sten tilbageholdes. Erfaringer tyder på, at der er risiko for, at stenene begynder at "bygge bro" ved en fri afstand mellem armeringsstænger, der er mindre end 3 x største stenstørrelse.

Risiko for inhomogen beton og støbesår forsøges med aftagende fri afstand.

I dæk med flere lag af krydsende armeringsstænger er masker med fri afstand 50 x 50 mm (DS 411) eller endog 37 x 37 mm (Eurocode 2) slet ikke tilstrækkelig for udstøbning med 125 mm pumpeslange og heller ikke for korrekt placering af, og effektiv vibrering med stavvibratorer.

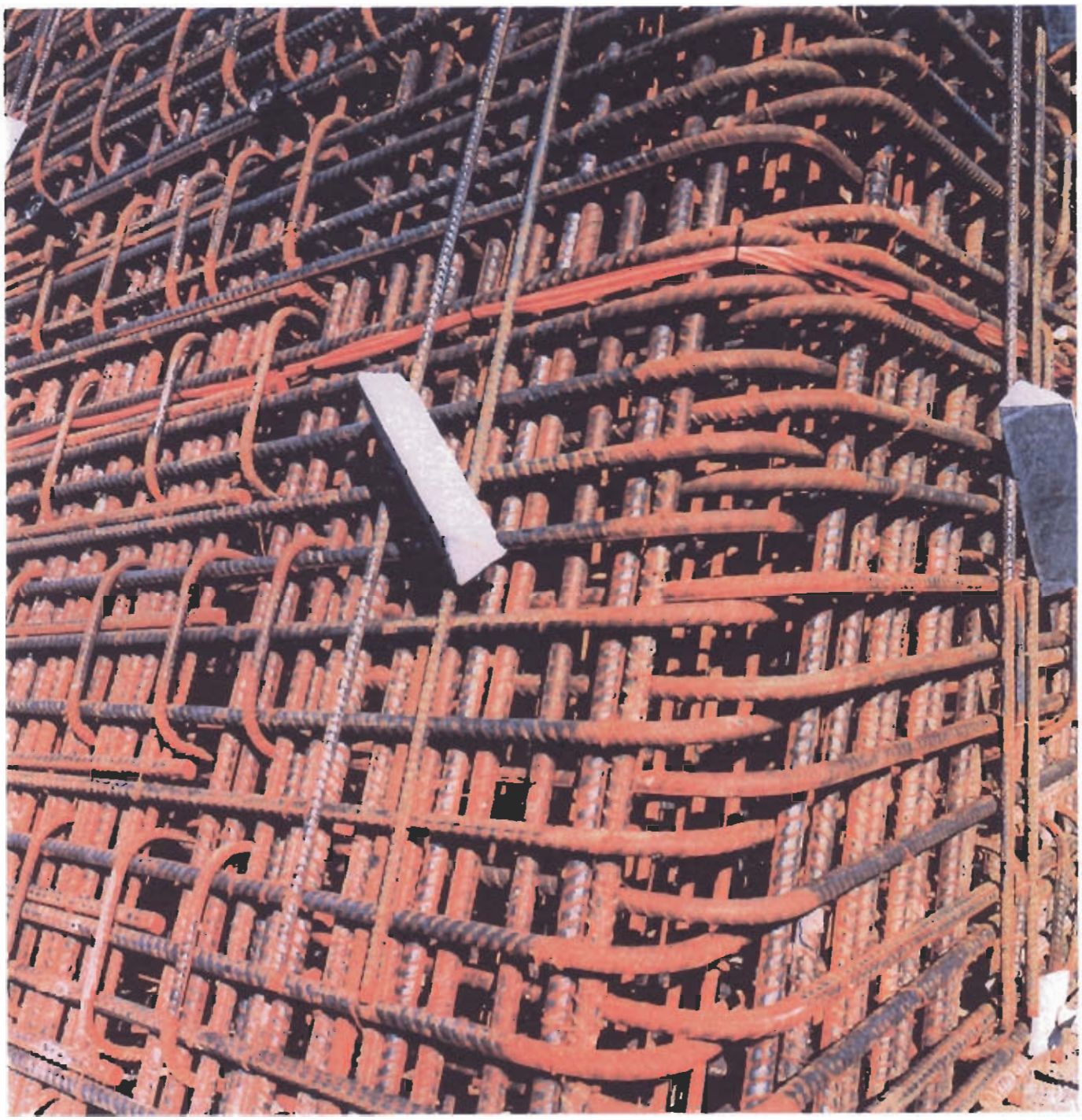


Fig. 25. Tæt armering.

Afhjælpning - udformning (Afstand mellem armeringsjern)
Af hensyn til udstøbning kan følgende principper anføres:

- Armering ved overflader bør have en fri minimumsafstand på 50 mm i begge retninger mellem enkeltjern, stød og bundter. Armeringsjern bør, hvor det er muligt, bundtes, for at lette placering og komprimering af beton.

- En høj armeringsprocent med anvendelse af ikke bundtede armeringsjern med små dimensioner gør vibreringen vanskelig. I sådanne tilfælde bør store armeringsdimensioner anvendes.
- I både dæk og vægge er to eller tre lag armering bedre end ét lag med kortere afstande. Med den større afstand mellem armeringsjernene sikres passagemulighed for stenfraktionen til dæklaget, og effekten fra stavvibrering øges.

Udformningen skal sikre, at betonen kan placeres i sin endelige position uden for store vandrette flytninger ved vibrering, og således, at der er tilstrækkelig plads til vibratorstave - se Fig. 26.

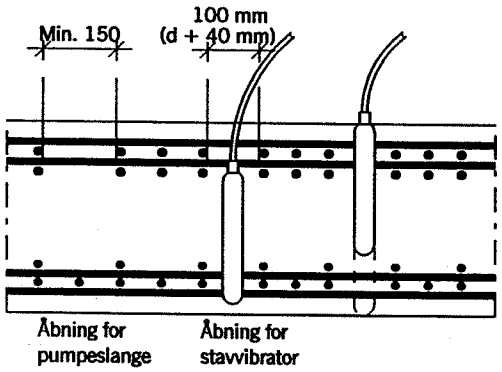


Fig. 26. Åbninger for pumpeslange og stavvibratorer.

Åbninger for pumpeslanger eller støberør er nødvendige, når konstruktionshøjden er større end 1 m, idet beton normalt ikke må falde frit fra større højde. I åbningerne bør den fri afstand mellem armeringsjern være mindst 150 x 150 mm. Den maximale afstand mellem sådanne åbninger afhænger af betonens konsistens men bør ikke overstige 2 m. Den frie afstand mellem armeringsjern i åbninger for stavvibratorer bør mindst være d + 40 mm, hvor d er stavvibratorens diameter. Afstanden mellem åbninger afhænger af armeringskompleksiteten og vibratordiameteren. Der henvises til Anvisning i Stavvibrering [2].

Afhjælpning - udførelse (Afstand mellem armeringsjern)
Nøjagtigt armeringsarbejde vil mindske risikoen for lokal reduktion af den frie afstand mellem armeringsjern.

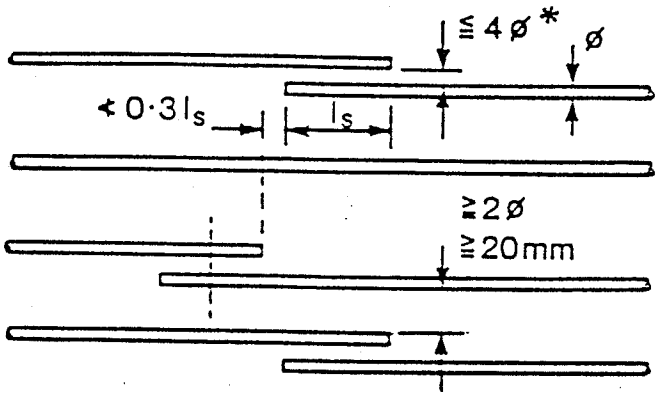
For at sikre det nødvendige antal åbninger for støberør og stavvibratorer (Fig. 26), kan armeringsjern forskubbes og/eller anbringes i grupper. Dette må kun gøres, hvis det aftales med den projektansvarlige.

For meget komplex armering kan det anbefales at udføre forprøvning ved støbning af et repræsentativt prøvelegeme [2].

4.3 Stød og forankring

I områder med stød og forankringer bliver armeringskoncentrationen stor og de udstøbningsmæssige vanskeligheder øges.

Problem (Stød og forankring)
Problemerne er de samme som nævnt i afsnit 4.2. Eurocode 2 angiver regler for den frie afstand mellem stødte armeringsjern (i både lodret og vandret plan) som angivet på Fig. 27.



*I modsat fald skal stødlængden øges med den længde, som den frie afstand overstiger 4 ø.

Fig. 27. Tætliggende stød.

Fig. 28 viser et eksempel på tætliggende forankringsjern. Udstøbningsforholdene i sådanne zoner kan være overordentlig vanskelige.

Afhjælpning - udformning (Stød og forankring)
Hensyntagen til udstøbning kan ske efter de generelle principper i afsnit 4.2. Desuden kan anføres:

- Forsatte stød bør anvendes, da det mindsker armeringskoncentrationen lokalt.
- Den frie afstand mellem stødjern, Fig. 27, skal være så stor som muligt.
- Brug af armeringskoblinger reducerer armeringskoncentrationen.

Afhjælpning - udførelse (Stød og forankring)
For at sikre omstøbning af armering i zoner med tætliggende stød og forankringer kan der benyttes beton med maksimal stenstørrelse 16 mm og eventuelt kan stenmængden reduceres.

Fig. 28. Tætliggende forankringsjern i hjørne ved skrå afgrænsning.

5. Spændt armering

Forankringszoner i beton med spændt armering kan være vanskelige at udstøbe.

Problem (forankring)
Betonen bag forankringer er forstærket med tætliggende net - eller spiralarmering. Disse områder, hvor der også er ordinær, slap armering, kan være vanskeligt tilgængelige med stavvibrator.

Spændt armering i vægge gør udstøbning og vibrering vanskelig. Problemet er analogt med kølerør - se afsnit 3.3.

Afhjælpning - udformning (forankringer)
Af hensyn til udstøbning bør de i afsnit 4.2 og 4.3 generelle principper følges.
Netarmering er bedre end spiralarmering, da vibreringsforholdene er bedre ved de først nævnte.
Eventuelle kølerør bør placeres mindst 1 m fra forankringszonen.

Afhjælpning - udførelse (forankringer)
Ved udstøbning af forankringszoner med tæt armering kan det anbefales at anbringe betonen udenfor denne zone og vibrere betonen ind imod forankringerne som vist på Fig. 29. Denne fremgangsmåde er en fravigelse af sædvanlige udførelsesprincipper.

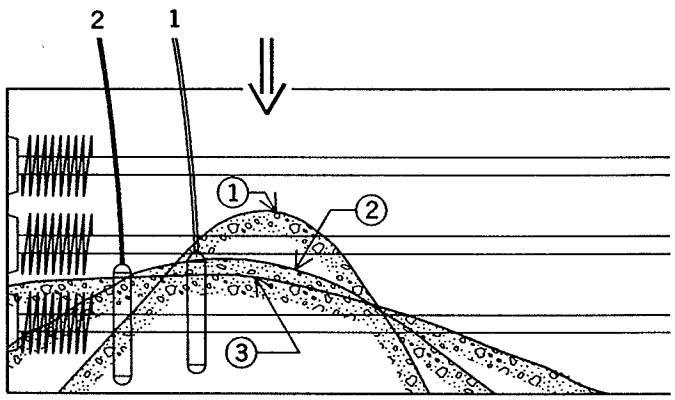


Fig. 29. Udstøbning af forankringszone med tæt armering.

6. Referencer

[1] Jens Frandsen, Karin-Inge Schultz: HETEK Rapport No. 74 - Anvisning i stavvibrering.
Vejdirektoratet 1997.

[2] Find Meyer: HETEK Rapport No. 91 - Forprøvning af fremstilling af betonkonstruktioner. Hovedrapport og orienterende beskrivelse.
Vejdirektoratet 1997.

[3] Erik Steen Pedersen, Helle Spange, Erik Jørgen Pedersen, Henrik Elgaard Jensen, Mette Elbæk Andersen, Per Fogh Jensen og Jan Graabæk Knudsen: HETEK Rapport vedr. styring af revner i ung beton.
Vejdirektoratet 1997.

[4] Anvisning i brug af højkvalitetsbeton til udsatte anlægskonstruktioner.
Dansk Betoninstitut A/S 1995.

[5] Kompen, R. and Liestøl G: Nye regler for sikring av overdekning, på norsk, Publikasjon nr. 78, Statens Vegvesen Norge 1995.

[6] Find Meyer: HETEK Report No. 85 - Structural Design and Workmanship. State of the Art.
Vejdirektoratet 1997.